

Manuales
Universitarios de
Edificación

3

Ramón Araujo

Construir en ALTURA

La arquitectura
como técnica
(2)



Sistemas, tipos y estructuras

Editorial
Reverté



**Manuales
Universitarios de
Edificación**

- 1 *Fernando Valderrama*
Mediciones y presupuestos
Para arquitectos e ingenieros de edificación
- 2 *Gavin Tunstall*
La gestión del proceso de edificación
Del croquis a la ejecución
- 3 *Ramón Araujo*
Construir en altura
Sistemas, tipos y estructuras

En preparación

Peter Smith

Guía de edificación sostenible
Construir en un clima de cambio

Ignacio Fernández Solla

Cerramientos de fachada
El diseño de la envolvente vertical del edificio

Manuales
Universitarios de
Edificación

3

Construir en ALTURA

Colección dirigida
por Jorge Sainz



Francisco Javier Sáenz de Oiza, sede del Banco de Bilbao (hoy BBVA), Madrid, 1978-1981.

Manuales
Universitarios de
Edificación

3

Ramón Araujo

Construir en ALTURA

La arquitectura
como técnica
(2)

Sistemas, tipos y estructuras

Prólogo
Enrique Álvarez-Sala

Edición
Jorge Sainz

**Editorial
Reverté**

© Ramón Araujo Armero, 2012
ra@estudioaraujo.es

Esta edición:
© Editorial Reverté, Barcelona, 2012

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede realizarse con la autorización de sus titulares, salvo las excepciones previstas por la Ley 23/2006 de Propiedad Intelectual, y en concreto por su artículo 32, sobre 'Cita e ilustración de la enseñanza'. Los permisos para fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra pueden obtenerse en Cedro (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org).

Editorial Reverté, S.A.
Calle Loreto 13-15, local B · 08029 Barcelona
Tel: (+34) 93 419 3336 · Fax: (+34) 93 419 5189
Correo E: reverte@reverte.com · Internet: www.reverte.com

Impreso en España · *Printed in Spain*
ISBN 978-84-291-3103-1
Depósito Legal: B 6099-2012
Impresión: Reinbook Impres, S.L., Barcelona
1376

Registro bibliográfico

Nº depósito legal: B 6099-2012
ISBN: 978-84-291-3103-1
CDU: 692
CDU: 728.28
Autor personal: Araujo Armero, Ramón (1957-)
Título: Construir en altura : sistemas, tipos y estructuras /
Ramón Araujo ; prólogo, Enrique Álvarez-Sala ;
edición, Jorge Sainz
Publicación: Barcelona : Reverté, 2012
Descripción física: 338 p. : il., plan. ; 24 cm
Serie: (Manuales Universitarios de Edificación ; 3)
Bibliografía: Bibliografía: p. [317]-319. Índice
Nota al título: Segunda parte de *La arquitectura como técnica*.
Madrid: Arc Ediciones, 2007
Encabezamiento materia: Partes estructurales y elementos de la construcción
Encabezamiento materia: Arquitectura – Rascacielos

Índice

Prólogo	7
Introducción	11
Láminas	17
I Características de la construcción en altura	25
II Tipología y evolución	51
III Forjados	81
IV Fachadas	109
V Fachadas de vidrio	141
VI El esqueleto de acero	171
VII La estructura de hormigón armado	207
VIII El hormigón prefabricado	239
IX Rascacielos	265
Conclusión	313
Bibliografía	317
Procedencia de las ilustraciones	321
Índice alfabético	333

La enseñanza de la técnica

Enrique
Álvarez-Sala

Leer libros o artículos de arquitectura requiere habitualmente una concentración absoluta para seguir el hilo del discurso y extraer las ideas que se esconden entre las palabras. Sin embargo, leer este libro de Ramón Araujo resulta sencillo: se lee sin esfuerzo y, sin darse cuenta, el lector se sumerge en un sugerente mundo de relaciones y referencias.

Nos encontramos ante un caso extraño: un libro técnico que es ameno y fácil de leer. ¿Cuál es la fórmula mágica?, ¿con qué enfoque se aborda un libro de arquitectura para que se lea sin esfuerzo?

Arquitectura y técnica

La idea es sencilla: en el libro se estudia esa parte en que la arquitectura es 'técnica', y eso permite un análisis riguroso y sin dramatismos.

Por supuesto, la arquitectura no sólo es técnica –sería una ingenuidad plantear que no hay más variables, todos sabemos que sí las hay–, pero es en la parte en que la arquitectura es técnica en la que el libro busca su inspiración.

Este volumen es la segunda parte de la serie de estudios que Ramón Araujo inició en 2007 con la publicación de *La arquitectura como técnica (1): superficies*, en donde el autor aplica la misma filosofía y el mismo enfoque.

La primera frase de ese primer libro dice «La arquitectura es una disciplina científica». ¡Revelador! Todo un manifiesto; una expresión desde luego no casual y esclarecedora de una forma de pensar: de la forma de pensar de Ramón Araujo.

Técnica y altura

En el caso del presente libro, el tema es –si cabe– aún más difícil: 'Construir en ALTURA'; y en la cubierta los editores han puesto 'altura' con mayúsculas. Inquietante. Por fortuna, el subtítulo ('sistemas, tipos y estructuras') tranquiliza, le da ese tono científico que ahuyenta el temor de que nos encontremos frente a otro tomo lleno de vaguedades y abstracciones del tipo «la luz que resbala».

Pero ¿lleva este enfoque al mundo exclusivo de la ingeniería? En absoluto. Precisamente, el conocimiento simultáneo de la técnica y de la forma es el campo específico de la arquitectura.

Los proyectos que llevan en su código genético ambas cuestiones son sin duda los mejores proyectos, los que dan como resulta-

Ramón Araujo, *La arquitectura como técnica (1): superficies* (Madrid: ATC Ediciones, 2007).



Enrique Álvarez-Sala estudió en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, de la que fue profesor del Departamento de Construcción entre 1983 y 2006; entre sus obras destaca la torre SyV en Madrid (2004-2008), realizada en colaboración con su socio, Carlos Rubio.

do los mejores edificios, los edificios que mejor han resistido el paso del tiempo, los que incluso han mejorado con él, porque las buenas ideas no envejecen.

Pero ¿es posible escribir sobre un tema tan atractivo –y, por tanto, tan recurrente– como la construcción en altura sin caer en repeticiones, en ideas ya manidas, en enfoques ya conocidos? ¿Es posible ofrecer un enfoque nuevo?

Este libro lo hace; parece imposible, pero lo hace. Y sin embargo, el planteamiento es tan simple que una vez hecho parece obvio. Construir en altura es sencillamente superponer plantas, una encima de la otra.

Parece elemental, pero no lo es en absoluto. ¿Hasta dónde se pueden superponer plantas? ¿En qué medida influye el número de plantas que se superponen? ¿Qué otras consideraciones y qué otros factores hay que tener en cuenta a medida que se aumenta el número de plantas?

Eso es, precisamente, lo que constituye el libro: un análisis científico de las técnicas idóneas en cada caso y de los factores que se han de considerar cuando varían las condiciones y el número de plantas; un análisis de la evolución de los sistemas estructurales; un análisis de la evolución de los sistemas constructivos; un análisis por separado de los forjados, de las fachadas, de las instalaciones, de los materiales, de los esfuerzos, de las deformaciones...

Simple, sí, pero de una eficacia contundente.

Altura y rascacielos

Y la superposición de plantas ¿adónde lleva? Lógicamente, a los rascacielos: es el desenlace inevitable.

Pero esto no significa que la construcción en altura sea únicamente la construcción de rascacielos, ni que el objeto de este libro sea la tipología de los edificios altos.

Afortunadamente, el libro se mantiene alejado de la fascinación de los récords y de las extravagancias formales que con frecuencia acompañan ahora a los edificios altos; también se distancia de consideraciones exhibicionistas relacionadas con el poder económico.

El rascacielos es el desenlace de un sistema constructivo y un tipo edificatorio en sí mismo, con una lógica interna de extraordinario interés.

En un rascacielos, la técnica es siempre un factor determinante de la forma. De alguna manera, los rascacielos son los *fórmula uno* de la edificación, y eso convierte a este tipo constructivo en la expresión de la tecnología punta disponible en un lugar y en un momento histórico determinados. De hecho, los rascacielos aparecen cuando la técnica necesaria está disponible.

Se puede hablar de un primer intento de levantar un rascacielos en Babel, que finalmente no prosperó (parece que por un desafortunado fallo en el protocolo de comunicaciones). Donde sí hicieron

su aparición los primeros rascacielos fue en el Chicago de finales del siglo XIX. Necesidad y tecnología, al coincidir en un mismo momento, hicieron de la necesidad virtud. Y la transferencia de tecnologías entre distintas disciplinas se hizo a una velocidad vertiginosa: fueron tiempos heroicos.

Pero ¿es que la construcción en altura no había existido hasta entonces?

Por supuesto que sí: basta pensar, por ejemplo, en las ‘ínsulas’ romanas. Pero hay un momento en el que las diferencias cuantitativas suponen variaciones cualitativas, y es esa transformación la que es objeto de estudio.

¿Se puede arrancar estudiando directamente los edificios altos o los edificios que superan una determinada altura? Qué duda cabe: de hecho, es un planteamiento muy frecuente y una tentación muy comprensible.

Pero a Ramón Araujo no le gusta tomar atajos y ha sabido resistirse a esa *atracción fatal* de dar saltos en el vacío para tratar de avanzar más deprisa. En buena medida, el gran atractivo del libro es precisamente éste: no hay piruetas; el análisis es progresivo, científico.

Conocimiento y enseñanza

He comentado cuál creo que es el enfoque del libro. Pero ¿cuál es su intención, por qué se ha escrito, qué interés tiene?

A mi entender, su única intención es transmitir conocimiento.

En ese sentido, es un libro de una enorme generosidad intelectual, que no busca lucimiento personal alguno ni complacencia narcisista de ningún tipo; sólo busca compartir el entusiasmo por la comprensión de la lógica de construir y que otros entiendan una forma distinta de ver la arquitectura.

El discurso del libro es preciso y claro, el lenguaje es contenido, las palabras son las necesarias, sin adornos. Si Robert Le Ricolais decía que la estructura es el arte de saber colocar los huecos (lo que hacía referencia a la eliminación de lo superfluo), el discurso del libro es ‘estructural’: contiene las palabras justas para explicar, para sugerir, para entusiasmar, para que el lector complete el pensamiento sugerido y no agotado, para que lo haga suyo.

Es un libro que abre puertas, pero que no agota temas. Cada idea, cada ejemplo, es un microcosmos, una apertura a un mundo fascinante que sólo se vislumbra

El libro no sólo enseña: también ayuda a estudiar.

La metodología empleada es evidente: la arquitectura se utiliza para enseñar arquitectura; ejemplos paradigmáticos sirven para mostrar soluciones, para relacionar técnicas e ideas constructivas.

Se puede pensar que los ejemplos son conocidos, tal vez incluso que algunos son referencias utilizadas con frecuencia; pero hay que decir que si estos ejemplos se han utilizado a menudo es porque Ramón Araujo los ha manejado, ha enseñado con ellos, los ha *popula-*

rizado hasta el punto de hacer que todos los conozcamos y los entendamos como nuestros: tan nuestros y tan próximos como si de los personajes de un retrato de familia se tratase.

Y en cierto modo, algunos de los ejemplos tienen personalidad propia, son en cierta medida amores de juventud, con respecto a los cuales se aprecia un cariño y un respeto casi reverencial. Otros son gigantes, 'mitos' en torno a los cuales se ha tejido la trama de la arquitectura. Por último, otros son discretos ejemplos que han preferido pasar desapercibidos y a los que sólo la insistencia del autor ha rescatado del olvido. Todos ellos han dado mucho a Ramón Araujo, a quien también deben mucho.

La utilización de estos ejemplos en sus clases ha hecho ver a muchos estudiantes y arquitectos otra historia de la arquitectura: una historia menos formalista. Las clases del tándem Araujo-Azpili-cueta durante algunos años en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid ya son míticas y muchos las recuerdan como una forma distinta, apasionante y apasionada de aprender y de enseñar arquitectura.

De alguna manera, este libro es la punta del iceberg de una carrera profesional dedicada a la construcción arquitectónica, al estudio y a la docencia. Todo ello, a partes iguales.

Si alguien quiere una confirmación de la voluntad didáctica de este libro, le aconsejo que se fije en los dibujos. A mí me resulta imposible no ver en ellos las explicaciones de las clases del autor a sus estudiantes. Son dibujos precisos, conceptuales, *docentes*, nada formalistas, sin otra voluntad plástica que no sea la exposición de las ideas; y sin embargo –y probablemente por ello–, son deliciosos.

El resultado es un libro sencillo para el principiante y sorprendentemente sencillo para los que se consideran especialistas. Hay que tener las cosas claras para poder simplificar.

Conozco a Ramón Araujo. Le he oído hablar, le he visto dar clase, le he padecido, le he disfrutado, he estado en su casa, he viajado con él, he aprendido de él muchas veces y muchas cosas. Sé como piensa y, sin embargo, aún me sorprende con frecuencia. Y ahora, otra vez.

Este libro enseña cosas que no sabemos, aclara cosas que sabemos y sugiere cosas que deseamos saber.

Madrid, enero de 2012.

Introducción

Este libro es fruto del curso de Construcción que imparto desde hace demasiados años en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

El curso lo desarrollé ante todo para mí, tratando de compensar el precario conocimiento que los arquitectos tenemos sobre las soluciones técnicas que están en el origen de la arquitectura que admiramos. Este afán por ampliar nuestros conocimientos técnicos era compartido por muchos compañeros de generación, y era una consecuencia esperable de las limitaciones técnicas de nuestro país y de nuestras ganas de construir.

Enseguida me divertí mucho contarlo; y poco a poco, con la experiencia de compartirlo, tomó la forma actual.

Mi curso siempre tuvo cierta actitud beligerante. Me fastidiaba enormemente ver cómo la Escuela se empeñaba en enseñar a proyectar con un desconocimiento y un desinterés notorios hacia los sistemas constructivos, hacia la 'técnica' de la arquitectura, y se dirigía hacia un entendimiento banal de la forma que, finalmente, ha terminado dominando la enseñanza y el ejercicio profesional durante años.

Siempre quise tratar de transmitir que la arquitectura y la construcción son prácticamente la misma cosa; que no se proyecta y luego se buscan formas de realizar lo proyectado; y que una arquitectura valiosa sólo puede nacer de la integridad entre la forma y sus sistemas técnicos. Formado en la tradición del Movimiento Moderno, me parecía evidente que la arquitectura de nuestro tiempo era hija de las nuevas posibilidades tecnológicas, algo que, por otra parte, muestra claramente la historia de la arquitectura.

Una característica del curso es estar repleto de análisis y descripciones de edificios, única forma que he hallado hasta la fecha de reunir forma y técnica: aprender analizando los edificios que admiramos. La enseñanza de la construcción a partir de detalles estándar y catálogos comerciales nunca me ha interesado demasiado.

Como el curso fue creciendo, tomó, al publicarse, la forma de una trilogía, y uno de los tres libros, el segundo, es éste dedicado a los edificios de pisos, a la construcción en altura.

La gran mayoría de las edificaciones que forman nuestras ciudades son edificios 'de pisos', organizados mediante la superposición de una cantidad significativa de planos horizontales habitables; y la

construcción en altura es desde hace mucho tiempo el sistema más generalizado en la ciudad contemporánea. Frente a los edificios de este tipo, caracterizados por los forjados, nos encontramos con organizaciones muy diferenciadas: las correspondientes a los edificios extensivos y de poca altura, en los que la cubierta es el factor dominante.

A pesar de lo simple de la diferenciación, no cabe duda de que construir y proyectar en altura implica características bien específicas. La generalización de la construcción en altura fue el resultado más significativo de la revolución técnica aplicada a la arquitectura, y sus principales innovaciones (la estructura reticular, la pared de vidrio y los nuevos sistemas de instalaciones) dieron como resultado la ciudad de gran densidad en la que vivimos hoy.

El edificio de pisos es necesariamente un artefacto muy tecnificado y su evolución en los últimos años (desde los primeros ejemplares de Chicago y los desarrollados por los arquitectos modernos) ha sido necesariamente técnica. Los sistemas estructurales, las instalaciones y los cerramientos no han dejado de encontrar nuevas soluciones para hacerlo cada vez más eficiente y más capaz.

No cabe duda de que los tipos actuales son hijos de las nuevas técnicas.

Este libro está organizado a partir de estas técnicas, y trata de describirlas en sus aspectos fundamentales, siempre con relación a los edificios en que se emplean, con cierto hincapié en las aplicaciones iniciales o más relevantes. El libro habla principalmente de estructuras, cerramientos y sistemas de instalaciones, y trata de describir su evolución y sus últimos logros.

La selección de edificios no es fácil de justificar. Desde luego, hay muchos ejemplos que no aparecen en el libro simplemente por que no caben, o por no haber tenido acceso a una documentación suficiente. También se ha preferido lo más antiguo a lo más reciente: por varias razones, pero quizá la más importante es por tratar de colaborar a que todo ese esfuerzo no quede totalmente relegado.

Reconozco también un creciente desinterés hacia la arquitectura más reciente (con excepciones, claro), que parece cada vez más ajena a la experimentación técnica y, sobre todo, al concepto de integridad, que me ha parecido importante conservar en el entendimiento del libro.

Estructuras

El libro trata de dar la máxima importancia al concepto y diseño estructural, en mi opinión el sistema técnico más relevante para la forma. De hecho, el edificio en altura, tal como lo concebimos, es ante todo el resultado de la aparición del sistema reticular de vigas y pilares en acero y hormigón armado. Gran parte de la evolución del edificio de pisos está determinada de hecho por la progresiva aparición de nuevas variantes a la retícula.

Por un lado nos encontramos con verdaderas invenciones, que terminan por confirmar que no hay verdaderas novedades en arquitectura sin una ambiciosa búsqueda estructural. Como resultado de esta experiencia, hemos heredado un amplio conjunto de hermosas invenciones estructurales.

Pero no siempre –es más, rara vez– debemos inventar; y descubrimos cómo algunas soluciones (aquellas que ofrecen unas organizaciones arquitectónicas depuradas y sencillas) se asimilan y se generalizan. Junto a los edificios imaginativos y brillantes –excepcionales, finalmente– aparecen otros claros, eficientes y concisos: brillantes de otro modo.

Resulta interesante ver cómo el hormigón armado ha ido perdiendo aquella fuerza casi explosiva que tuvo en su momento de esplendor, para dar lugar a las actuales soluciones ‘estándar’, sencillas y económicas, resultado de la inmensa demanda de metros cuadrados sin cualificar de la ciudad contemporánea.

El acero es hoy el protagonista de las soluciones más novedosas y experimentales, gracias en parte al desarrollo de técnicas de conformación que ofrecen una libertad antes impensable en el diseño de piezas. Pero también el acero ha producido una solución ‘estándar’ al esqueleto metálico, que es hoy casi ineludible en muchos edificios, especialmente los de oficinas.

Describir cómo hemos llegado hasta aquí importa también para aventurar qué soluciones estructurales serán las dominantes en el futuro próximo.

Creo que se abrirá paso de nuevo el interés por la optimización estructural. Empezamos a juzgar nuestros edificios en función del coste energético, lo que debe impulsar la defensa de la ligereza y, por tanto, de las mejores estructuras. En realidad, esto significa que reanudamos nuestro trabajo desde las experiencias que siempre primaron la eficacia estructural (aunque por entonces no llamásemos a esto ‘eficiencia energética’, obviamente lo era) y creo que tendremos un puente por encima de tantas tontas estructuras recientes, ya difícilmente defendibles desde la óptica de la razón.

Y lo mismo vale para la racionalización y la industrialización, que son objetivos característicos e incluso inexcusables del diseño estructural en el desarrollo de la arquitectura moderna, y de las que encontraremos ejemplares únicos, casi visionarios. Éste es un tema que recobrará protagonismo, de nuevo lanzado desde nuestro interés por el control energético.

Fachadas

El edificio de pisos moderno nació con un cerramiento predominantemente acristalado, como resultado de su gran necesidad de luz solar; y el ‘muro cortina’ dominó los comienzos de la arquitectura moderna, de modo que encontraremos en el libro numerosos ejemplos de este desarrollo. Son muchos los problemas de todo or-

den que guían la evolución de esta fachada, pero el dominante será el del control solar; y progresivamente una nueva generación de cerramientos se centra en la optimización de la fachada acristalada para lograr mejorar el comportamiento energético del edificio. La evolución desde el *brise soleil* de Le Corbusier hasta los diferentes sistemas de parasoles actuales está repleta de soluciones brillantes e íntegras, en soluciones a veces altamente tecnificadas.

La doble pared de vidrio es uno de estos resultados, y si ha encontrado en ocasiones fórmulas brillantes –especialmente cuando aparece ligada a la ventilación natural y al control solar–, no parece una solución generalizable por su alto coste y su ineficacia en climas calurosos.

Pero no todo es vidrio. Muchos grandes edificios muestran soluciones más que válidas a partir de materiales tradicionales, aunque progresivamente los cerramientos ligeros se van imponiendo.

La industrialización de la fachada ha sido un aspecto dominante en el diseño de los edificios de pisos, y en ocasiones –y con materiales y técnicas diversas– se alcanzó una verdadera producción industrial de sistemas de paneles, que hoy envidiamos. Y es que en los ejemplos más recientes la resolución de la fachada muestra que el diseño recae progresivamente en las patentes de carpintería y revestimientos, con soluciones muchas veces innecesariamente complicadas y costosas. El predominio de los sistemas de aislamiento exterior y cámara ventilada ha impulsado además unos diseños precarios verdaderamente menos industriales y duraderos que sus antecesores. Este dominio comercial ha impulsado una generación de juegos plásticos pueriles, un mal gusto a bajo coste del que tuvimos ya amplia experiencia en los primeros años del hormigón prefabricado. Todo esto no hace sino ralentizar la evolución hacia la generalización de unos sistemas de cerramientos eficientes y duraderos.

Control ambiental

La importancia del diseño y la concepción de los sistemas de instalaciones y el control ambiental no ha sido siempre atendida por los arquitectos, y de nuevo los ejemplos aquí descritos nos muestran la gran atención de la que son objeto en un buen diseño.

La aparición de los nuevos sistemas de control ambiental (aire acondicionado sobre todo, pero también todo tipo de elementos de iluminación eléctrica, instalaciones de telecomunicaciones, etcétera) fue determinante para la transformación del edificio de pisos, y durante muchos años el diseño estuvo dominado por su integración en la forma. Muchos de los ejemplos del libro tratan de mostrar cómo los edificios en altura van logrando incorporar con integridad y coherencia las nuevas invenciones.

La progresiva asimilación del problema del control energético marca un antes y un después en esta evolución, y se inicia un pro-

ceso crítico contra el edificio acristalado y hermético de oficinas tal como se planteó en Norteamérica: esa arquitectura corporativa de tanto éxito que se basó en el acondicionamiento integral y el vidrio. Como resultado, el diseño se plantea como objetivo la reducción del consumo energético e incluso apuesta por la generación de energía en el propio edificio.

La discusión tiene múltiples consecuencias, pues implica a los cerramientos, a la orientación, al volumen y al peso del edificio, y se plantean opciones como el retorno a los materiales tradicionales y las estrategias de conservación. Pero la tendencia dominante apunta de nuevo a la tecnificación, y poco a poco van apareciendo nuevos sistemas de instalaciones: sistemas de comunicaciones y control, sistemas de techos y suelos térmicos, generación solar y geotérmica, sistemas de ventilación controlada y tantos otros, que son las nuevas invenciones que han de ser incorporadas en el edificio.

Los ejemplares más recientes descritos en el libro dedican gran atención a este tema, que permanece por el momento tremendamente abierto.

En realidad, veremos mucho más de lo que puede resumirse en esta introducción, ya que el libro ofrece en lo posible la descripción de edificios completos, más que la de sus partes. Además de la evolución del edificio en altura en estos años, destaca ante todo su carácter experimental, y son muchas las soluciones de todo tipo que se probaron y no han tenido después continuidad. Y todo eso no cabe en ningún prefacio.

Láminas

i. *Antonio Gaudí,*
casa Milá, 'La Pedrera',
Barcelona, 1906-1910.



ii. *Le Corbusier,*
Pabellón Suizo,
Ciudad Universitaria,
París, 1930-1932.





xxv. *Adrian Smith
(SOM), torre Jin Mao,
Shanghái, 1994-1998.*

xxvi. *C.Y. Lee, torre
Taipéi 101, Taipéi
(Taiwán), 1999-2004.*

xxvii. *Adrian Smith
(SOM), rascacielos
Burj Khalifa, Dubái,
2004-2010.*



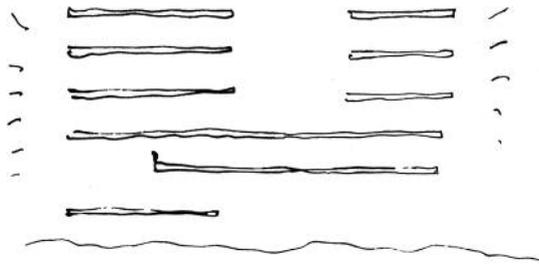
Características de la construcción en altura

La ciudad vertical ya existió en la Antigüedad; y desde Roma a la ciudad del siglo XIX, la construcción con muros de carga permitió la superposición de planos de uso hasta cierta altura.

El gran cambio de escala que condujo a la ciudad moderna se inició a finales del siglo XIX en Chicago, se generalizó después con la ciudad vertical teorizada por el Movimiento Moderno y ha alcanzado una escala desmedida con los actuales centros financieros, resultado de la evolución de un amplio conjunto de invenciones: el esqueleto de acero y hormigón, el ascensor, el aire acondicionado, etcétera.

El resultado es que no cabe duda de que la ciudad moderna es y será característicamente vertical.

1.1. Lo determinante de la construcción en altura es la superposición de planos horizontales.



1.2. Las organizaciones en altura no son una simple repetición, aunque la repetición es una de sus características: orden gigante en el palacio Valmarana, de Andrea Palladio.

La superposición de planos implica un problema espacial y técnico de características muy particulares y el edificio en altura es un organismo potencialmente muy complejo. Si tal complejidad ha sido siempre característica, hoy se abren nuevas posibilidades con secciones no necesariamente repetitivas, la superposición de espacios de escalas diferenciadas, e incluso la incorporación de grandes recintos que parecen permitir una nueva libertad vertical. Por otro lado, la tecnología del vidrio abre el camino a complejos organismos entreabiertos.

Necesariamente, estas organizaciones espaciales serán eficientes en tanto encontremos soluciones adecuadas para su estructura, su concepción energética, sus cerramientos, su seguridad, etcétera; y también para su montaje, pues la dimensión característica de la construcción en altura requiere altos niveles de industrialización. La concepción del edificio como un mecano de ligeros elementos industrializados es el concepto más extendido, pero no el único, y otras tecnologías ofrecen posibilidades interesantes.

Tipología y evolución

El edificio de bandejas –tal como lo entendemos hoy– nació de la experiencia del Movimiento Moderno, en la que cristalizaron soluciones como el bloque lineal con estructura reticular y cerramientos acristalados, y diversas formas derivadas de él.

En Norteamérica, después de la II Guerra Mundial, este proceso de formación de nuevos tipos se reanudó y se concentró en las soluciones de núcleo central y plantas de grandes luces libres, en las que tomaron forma algunos componentes tan importantes como el muro cortina o el techo técnico.

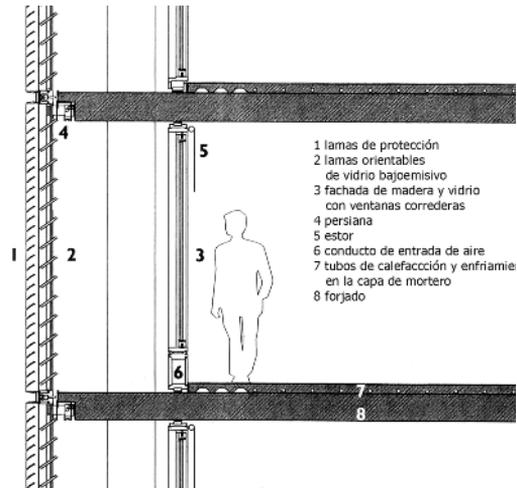
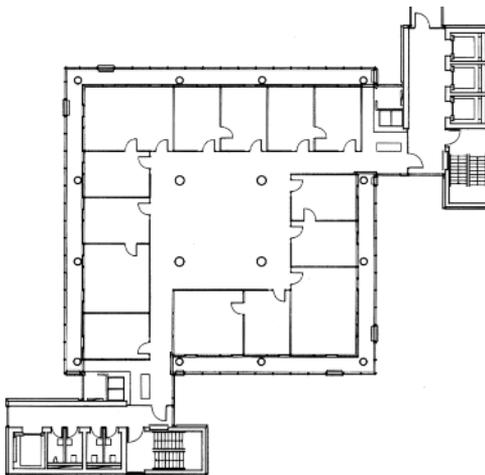
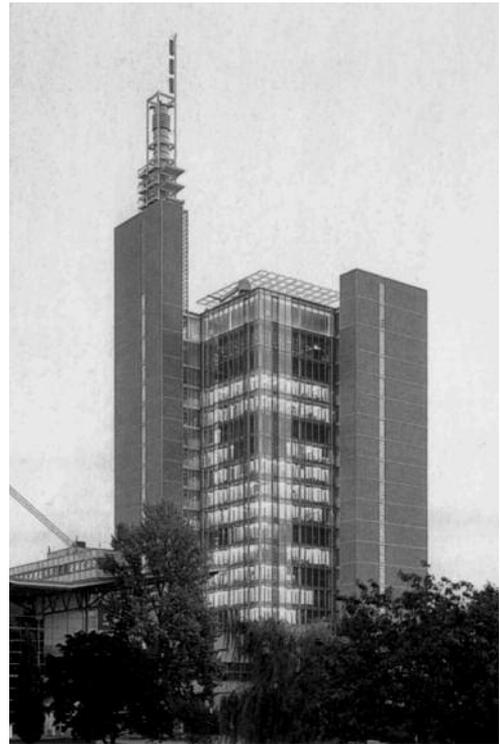
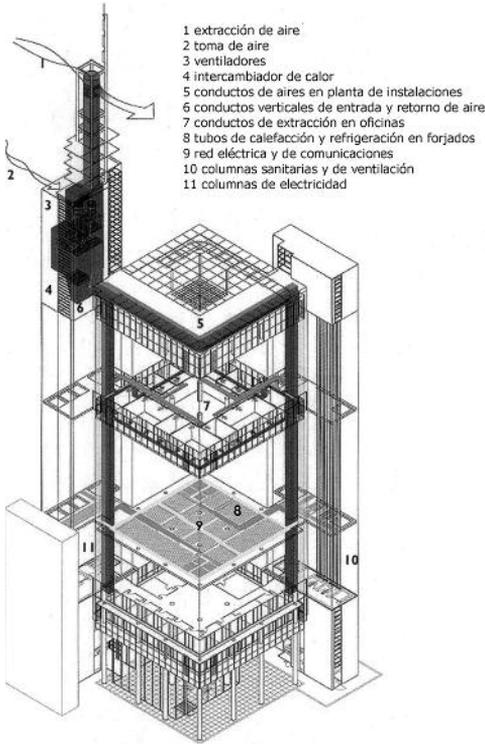
Estos tipos conservan hoy sus rasgos característicos, aunque desde entonces se han probado otras alternativas, entre las que destaca la aplicación de diferentes soluciones estructurales que han superado las limitaciones de la retícula, como los sistemas suspendidos o los realizados a base de núcleos y pantallas.

A continuación pueden señalarse dos desarrollos importantes y bastante interconectados: la incorporación de un atrio y el estudio de alternativas al concepto energético del edificio (incluidas nuevas soluciones de fachada). Estos problemas alcanzan protagonismo debido a la demanda de tecnificación del espacio, el recurso a una profundidad edificada cada vez mayor o la búsqueda de alternativas a la oficina corredor.

Describiremos a continuación algunas de las realizaciones características de esta evolución, para lo que vamos a exponer los rasgos y las características de las construcciones actuales. Empezamos por el nacimiento del propio esqueleto.

La construcción con esqueleto nació en Europa con las primeras columnas de fundición y las primeras vigas laminadas, y su objetivo central era la lucha contra el fuego en la edificación industrial. La primera construcción de esta clase que conocemos es una algodonera de seis pisos construida en 1792-1793 por William Strutt en Derby (Inglaterra), y consiste en un sistema de pórticos paralelos atados transversalmente, con un muro perimétrico que abraza el conjunto (figura 2.1). La asociación entre el esqueleto y el muro es muy notable, pues permite que el primero se configure como un ligero mecano de uniones apoyadas, que trabaja sin esfuerzos excentricos.

Durante el siglo XIX se siguieron realizando diferentes estructuras mixtas de este tipo, hasta que el esqueleto de fundición prescindió ya del muro en los edificios de James Bogardus y, finalmen-



talamiento ($K = 1 \text{ w/m}^2\text{°c}$), calefacción de agua caliente con central de gas con apoyo solar, ventilación forzada con recirculación y recuperación de calor, módulos fotovoltaicos, depuración de agua gris y reutilización en cisternas, producción de biometano con aguas negras y residuos que abastecen las cocinas, agua pluvial para riego, etcétera; el edificio consume 13 Kwh/m^2 año, menos de la décima parte que un edificio convencional.

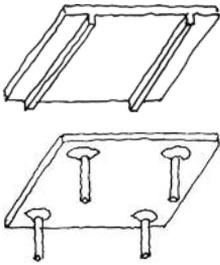
2.37. Thomas Herzog, oficinas de la Feria de Hannover, 2000; esquema de la organización de instalaciones, vista general, planta tipo y sección de la fachada.

Forjados

El forjado es quizá la superficie con requisitos más complejos de cuantas tratamos en construcción, y desde luego la más significativa de la construcción en altura, que consiste fundamentalmente en la superposición de planos de uso. Tales requisitos son de orden mecánico (resistencia, arriostramiento, control de deformaciones, vibraciones), de impermeabilidad, confort ambiental (acondicionamiento termoacústico), distribución de instalaciones y alojamiento de mecanismos de todo tipo, resistencia al fuego, etcétera.

Características mecánicas

El forjado es un plano que trabaja generalmente en flexión, con diferentes vinculaciones en sus bordes, de modo que su comportamiento variará en función de ellas.

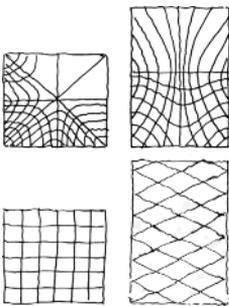


3.1. Forjado sobre vigas o sobre soportes.

1. Puede ser monodireccional o bidireccional, con flexión en una dirección o con comportamiento de placa, que resulta mucho más eficaz. En el primer caso, el forjado requiere la existencia de vigas, mientras en el segundo puede apoyar directamente sobre soportes. Recordemos que una placa desarrolla nuevos mecanismos resistentes (torsión y cortante transversal, además de la colaboración entre las dos direcciones) que la hacen más eficaz.

Las placas pueden ser macizas o nervadas, pero estas últimas resultan más interesantes por su ligereza. La geometría de los nervios debe ser en lo posible acorde con la red de líneas isostáticas de flexión, aunque su trazado suele ser una aproximación esquemática.

De estos trazados geométricos, el emparrillado ortogonal es el más frecuente, sobre todo en las placas cuadradas, donde todas las barras pueden tener la misma sección. A medida que las proporciones cambian, las barras largas pierden eficacia: con una proporción de 1:2, las barras más largas requieren 8 veces más rigidez que las cortas para llevarse las mismas cargas. Actualmente, una solución más eficaz para las placas rectangulares consiste en girar el emparrillado hasta formar una red de rombos, de nuevo más próxima al trazado de las líneas isostáticas.



3.2. Trabajo bidireccional en placas y simplificación de los nervios.

2. Otra cuestión importante son las condiciones de borde: forjado apoyado o empotrado, lo que implica diferentes formas de trabajo y de colaboración con el resto del sistema. En los vínculos con los soportes y las vigas, decidimos si el forjado les transmite momentos y esfuerzos rasantes además de la carga vertical.

za un tramo completo de forjado de 3 metros de ancho. La pieza no tiene cordón superior, sino que es el propio tablero de chapa perfilada el que actúa como cabeza de compresión. El cordón inferior es doble para resolver el encuentro con los techos y las divisiones.

Todas las piezas están muy mecanizadas en taller con objeto de reducir al mínimo las operaciones de montaje.

La climatización se realiza por medio de un acondicionador autónomo de $2,40 \times 0,9 \times 7$ metros, alojado en el interior del techo, con ocho puntos de impulsión y retorno por *plenum*; cada una de las ocho tomas tiene dos mangueras flexibles a través de las cuales se pueden alcanzar diferentes puntos de la retícula modular y adaptarse así a las diferentes configuraciones de la planta.

El techo modular está formado por un conjunto de perfiles suspendidos que pueden desdoblarse para incorporar la rejilla de impulsión de aire. Los casetones son reflectores de acero esmaltado que permiten diferentes tipos de luminarias (luz directa o indirecta, difusores, etcétera), con tratamiento acústico y aislamiento contra el fuego. Los perfiles del cielo raso, con sus fijaciones, permiten además acoplar el sistema de las divisiones interiores.

Las divisiones son de dos tipos, las fijas con tabiques de yeso y chapa sobre montantes metálicos montados por engatillado, y las móviles con un mecanismo de presión a suelo y techo, con elementos pivotantes correderos.

Fachadas

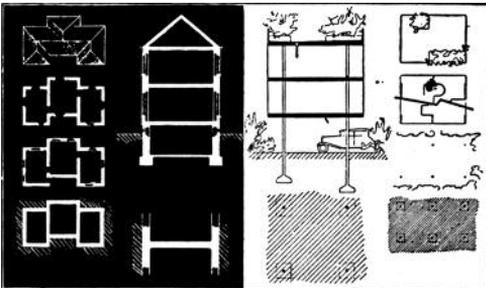
No existe necesariamente un cerramiento como sistema independiente; y cerramiento y estructura pueden ser un solo elemento (como en la construcción mural), estar muy integrados en una superficie en la que ambos colaboran o, finalmente, concebirse como sistemas independientes, en cuyo caso la estructura soporta el cerramiento.

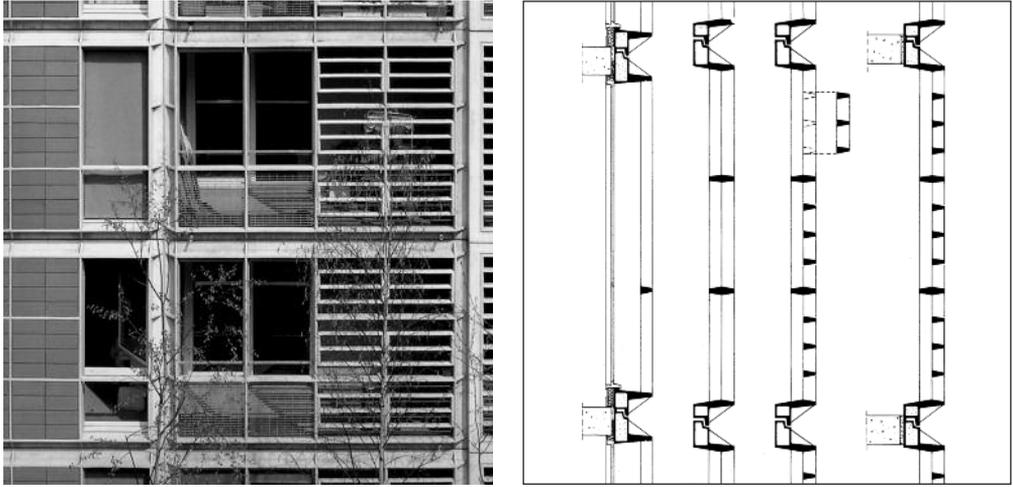
La envolvente del edificio resuelve la relación con las condiciones del clima o la defensa ante ellas, y tiene una función determinante con respecto al comportamiento energético del conjunto, muy especialmente en su acondicionamiento térmico. Por todo ello, también los sistemas de instalaciones pueden estar involucrados en los cerramientos: la envolvente tiene una relación compleja tanto con la estructura sustentante como con los sistemas de intercambio energético del edificio, y su diseño es absolutamente interdependiente.

No obstante, en la construcción en altura –donde la envolvente se convierte en fachada– la configuración del cerramiento como una piel ligera y no portante es un rasgo común a la mayoría de los edificios actuales.

4.1. *En la construcción tradicional de entramado, la fachada no existe como algo independiente, no es natural una distinción clara entre la envolvente y la estructura, sino que la fachada implica a todos sus elementos: vista de una casa en La Alberca (Salamanca).*

4.2. *La independencia entre el cerramiento y la estructura es un rasgo determinante de la arquitectura moderna: dibujo de Le Corbusier.*





Actualmente se usan muchos materiales sintéticos compuestos a base de resinas, que permiten la fabricación de superficies de gran rigidez con espesores reducidos. Su empleo no es muy diferente al de los sistemas ya descritos.

Por último, cabe citar las realizaciones de Renzo Piano, que ha abierto nuevos caminos usando materiales cerámicos (que nos recuerdan a la Escuela de Chicago) o recuperando el *ferrocemento* (un hormigón con altas cuantías de armado desarrollado por Pier Luigi Nervi) para lograr un nivel de diseño que ya no proporciona el hormigón prefabricado (figura 4.43).

4.43. Renzo Piano, edificio de viviendas en la Rue de Meaux, París, 1991: sistema de fachada prefabricados de terracota y ferrocemento.

Fachadas de vidrio

Hace ahora casi cien años surgió la idea de cerrar los edificios en altura con una fachada de vidrio. Las perspectivas de Ludwig Mies Van der Rohe para su proyecto de rascacielos en la Friedrichstrasse de Berlín datan de 1921 y la Bauhaus se construyó en 1926, pero fue con los edificios de oficinas norteamericanos cuando el acristalamiento completo se convirtió en una solución general, casi en un estándar. En ese momento, el tipo de edificio desarrollado por los arquitectos de la Escuela de Chicago a finales del siglo XIX –que era ya un edificio de oficinas plenamente moderno (con su núcleo de instalaciones y servicios, y su esqueleto reticular) y que estaba ampliamente acristalado con huecos corridos entre los soportes– simplemente cambió de *piel*, y esto sólo fue posible con la incorporación del aire acondicionado. Los primeros edificios de este tipo datan de los años 1950 y son suficientemente conocidos (la sede de la ONU, la Lever House, el Seagram, etcétera); ya se elevan más altos que los de Chicago y son herméticos, acondicionados y completamente envueltos en vidrio.

Actualmente, el funcionamiento de estos edificios resulta muy controvertido, debido a su dependencia técnica y a su mal comportamiento energético, pues sus pérdidas y ganancias térmicas eran verdaderamente considerables (especialmente las segundas) y sólo podían combatirse a base de consumir energía. Este comportamiento se trató de corregir mediante nuevas tecnologías del vidrio, con los primeros acristalamientos absorbentes o reflectantes, pero pronto quedó claro que estas soluciones eran ineficaces: el problema era de diseño.

Estas envolventes de vidrio se cuestionaron también en sus aspectos plásticos o compositivos, pues el muro cortina pronto dio lugar a soluciones muy predeterminadas en las que apenas se podía manipular la composición del enrejado.

Acristalar gran parte de la fachada, concebir la envolvente como una superficie de vidrio, es hoy una solución aceptada, y ya no se discuten las ventajas de una envolvente que aporta luminosidad y visión, pero también se tiene la convicción de que hay que lograrlo con un balance energético positivo.

Después han pasado muchas cosas. La primera es que ha habido un notable desarrollo de la tecnología del vidrio y de los sistemas de acristalamiento, que ha superado muchas de sus limitaciones iniciales. Basta recordar que actualmente el vidrio ha mejorado

El esqueleto de acero

La construcción en acero es, en cierto modo, la solución natural al esqueleto en altura, pues sus características mecánicas y sus posibilidades de conformación la hacen óptima para un sistema configurado por piezas lineales en flexión. Además, la construcción metálica ya ha dejado atrás su fase experimental y es quizá la que ofrece soluciones más eficientes, tipificadas e industrializadas: es, sobre todo, la solución de armazón metálico con forjados mixtos la que parece generalizarse en todo tipo de edificios, con independencia de su uso y tamaño.

Las estructuras de acero para los edificios de pisos tienen algunas características generales que resumimos a continuación.

1. Prestaciones del material

El acero es el material clásico asociado a las estructuras de altas prestaciones debido a sus elevadas características mecánicas (alto módulo elástico y resistencias a rotura); pero además, en los últimos años el acero ha superado muchas de las limitaciones que llevaba aparejadas.

En cuanto a la conformación de piezas, actualmente no sólo disponemos de amplios catálogos de secciones laminadas impensables hace poco años, sino que además se van generalizando las piezas fabricadas en taller a base de perfiles y chapas –que amplían notablemente las soluciones posibles– o incluso la fabricación de piezas especiales con sistemas robotizados tipo CNC (*computer numerical control*).

Lo mismo ocurre con la protección contra la oxidación, para la que se ha generalizado la galvanización y los tratamientos aplicados en taller.

Pero quizá lo más llamativo sea el atractivo del acero por sus posibilidades de reciclado del material y reutilización de piezas, de modo que el coste energético de producción es más que competitivo frente a otras soluciones, y el edificio metálico puede concebirse como un producto plenamente recuperable.

2. Libertad, flexibilidad, industrialización

Las estructuras metálicas permiten soluciones de espacios diáfanos con elementos verticales poco intrusivos, y vigas y forjados de luces notables, con pesos inferiores a las soluciones equivalentes en cualquier otro material. Con su amplio catálogo de perfiles lamina-

La estructura exterior se protege con una instalación de agua interna a los pilares tubulares, con una válvula superior de vaciado. Los vidrios de fachada son antifuego en la parte correspondiente al canto de las vigas.

La estructura de hormigón armado

El esqueleto reticular de vigas y pilares de hormigón armado in situ fue la solución para el edificio de pisos más claramente defendida por los arquitectos modernos, apoyados por entonces en las patentes de François Hennebique. Actualmente, ésta es la solución más extendida en los edificios en altura, especialmente para luces medias, con forjados generalmente de losa de hormigón aligerada. También están bastante generalizados los sistemas de este tipo en colaboración con núcleos y pantallas del mismo material.

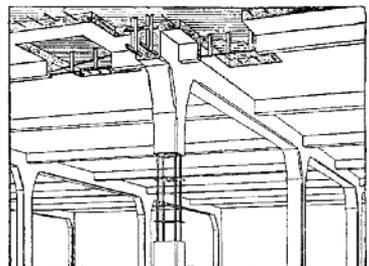
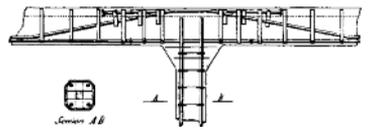
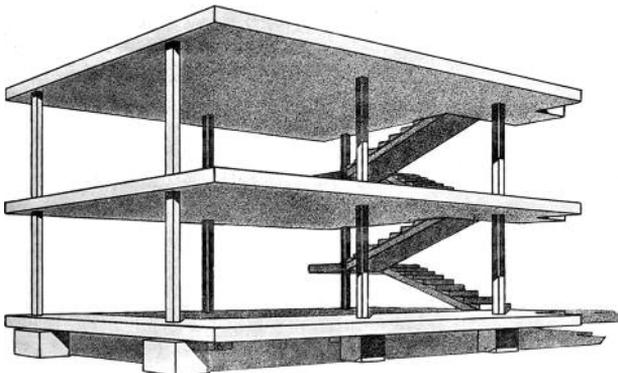
El esqueleto reticular de hormigón armado tiene algunas características que lo han hecho preferible en Europa –y sobre todo en España– a las soluciones equivalentes en acero: su bajo coste, su buen comportamiento frente al fuego, la continuidad y el monolitismo que le son consustanciales, etcétera. A cambio, su inconveniente principal es la dificultad de lograr una buena ejecución, dadas las dificultades asociadas al proceso de construcción in situ.

En los últimos años, la construcción en hormigón armado ha progresado mucho en España: se han generalizado unos sistemas de encofrado y puesta en obra muy racionalizados, así como un avanzado control de calidad (el hormigón es siempre de central, etcétera), de modo que se han superado en gran parte los inconvenientes tradicionalmente asociados a la ejecución in situ y actual-

7.1. Sistema Hennebique de estructuras de hormigón armado.



7.2. Le Corbusier, estructura de las casas Dominó, 1914.



El hormigón prefabricado

La historia del hormigón premoldeado se entremezcla con la del hormigón armado, y las primeras ideas sobre su empleo son muy anteriores a las patentes de François Hennebique: hacia 1860 se fabricaron los primeros bloques de hormigón; de 1875 es la patente de Lascelles para construir viviendas mediante soportes y placas prefabricadas de hormigón; y en los Estados Unidos ya se emplearon y patentaron diferentes elementos prefabricados antes de 1900.

Por otro lado, en Francia, Auguste Perret ya empleaba placas prefabricadas como cerramiento entre sus armazones de vigas y soportes; y el sistema Mopin, usado hacia 1930 (en la Cité de la Muette de Drancy, por ejemplo) era un antecedente de los actuales sistemas prefabricados empleados como encofrados perdidos.

Pero el gran impulso de la técnica se produjo hacia los años 1950, y fue entonces cuando su tecnología comenzó a adoptar las formas que hoy nos resultan familiares. Por un lado, comenzaron a generalizarse elementos prefabricados para paneles, vigas y forjados; y los elementos prefabricados se incorporaron a los sistemas constructivos de la época (los arquitectos del Movimiento Moderno emplearían muchos elementos prefabricados de este modo) que darían lugar a las primeras estructuras completamente prefabricadas.

Por otra parte, este material nació ya con la idea de hacer posible la prefabricación completa del edificio, algo que otros materiales no podían ofrecer. De este modo, la solución del edificio en altura en hormigón prefabricado se planteó desde dos frentes: la prefabricación de la estructura, de modo que ésta fuese compatible con los habituales sistemas de cerramientos y otros elementos constructivos; y la prefabricación del edificio completo, que trataba de resolver en hormigón todos sus elementos e inauguraba una forma de concebir la construcción que fuese una alternativa a la que se imponía en esos años.

Los sistemas de muros fueron los protagonistas de la prefabricación, especialmente en su aplicación a la vivienda de bajo coste en Europa. En este ámbito se trató de prefabricar el edificio completo, de modo que fuese posible hacer una vivienda de bajo coste y rápida ejecución. Son incontables las realizaciones residenciales de este tipo, ya que fue la técnica predominante para la reconstrucción europea tras la II Guerra Mundial. En general se optó por sistemas muy económicos, de luces moderadas, con plantas nada flexibles en las que todas las divisiones resultaban portantes o casi,

resante observar que no resulta clara la estabilización ante los esfuerzos horizontales, dada la solución apoyada placa-pilar. La solución debe de estar en las torres de escaleras y servicios situadas fuera de planta, que son grandes monolitos de fábrica de ladrillo cuyo peso propio inmovilizaría el conjunto.

Otro aspecto notable de este edificio es la complejidad de las piezas, a cuyo elaborado diseño se confían diferentes misiones. En primer lugar, las vigas principales y secundarias tienen una configuración tipo Vierendeel para permitir el paso de conductos a su través y permitir dejar visto el intradós de los forjados. Además, las piezas incorporan diferentes cajeados destinados a garantizar un buen ensamblaje de todas ellas, e incluso a inmovilizarlas lateralmente una vez presentadas. Si añadimos a esto los necesarios pasos para los postensados, es evidente que estamos ante otro concepto de la prefabricación.

Rascacielos

A medida que un edificio crece, el peso estructural aumenta de acuerdo a la Ley de Semejanza, razón por la que lo grande tiende a ser algo torpe y poco airoso. Pero el aumento en altura y en esbeltez es aún más desfavorable desde el punto de vista mecánico, consecuencia del predominio de los esfuerzos horizontales y de la presencia de nuevos problemas, como la importancia de los esfuerzos dinámicos o la inestabilidad elástica. Por todo esto, con el crecimiento en altura lo estructural gana necesariamente en relevancia.

Otros problemas se manifiestan con nueva magnitud a consecuencia de la altura, como la protección contra el fuego o la importancia del transporte vertical, asuntos que serán ahora determinantes para la forma. También los sistemas de acondicionamiento se manifiestan con inusitada importancia, consecuencia de la necesidad de hermetismo que implica vivir tan arriba.

Pero a pesar de tantos inconvenientes, las torres han existido siempre y la gran altura parece una ocasión única para experimentar nuevas posibilidades de organización espacial.

El rascacielos es generalmente un edificio especulativo en el que el rendimiento de la planta suele primar en el diseño. Por esto su evolución va necesariamente ligada a la diafanidad de la planta y a la optimización del espacio ocupado por las instalaciones y el transporte vertical.

La planta de núcleo central es casi siempre la solución al problema, y pocos edificios escapan a su tiranía. La limitación más clara de la profundidad de la crujía está dictada por la iluminación natural, ya que a más del doble de la altura de planta necesitamos luz artificial, y en algunos países (como Alemania) la profundidad no puede superar los 8 metros. Sin embargo, la carrera por la altura siempre ha superado estas dimensiones; y en los años en que tomó forma el 'rascacielos de cristal' el fondo edificado creció progresivamente hasta los 23 metros de la torre Sears, en Chicago. En la actual generación de rascacielos construidos en Oriente también se ha recurrido a grandes anchuras (los 13 metros de las torres Petronas en Kuala Lumpur, y de la Taipéi 101 en la capital de Taiwán; y los 17 metros del Banco de China en Hong Kong). Hay que recordar que conforme crece la altura disminuye la eficacia del espacio (la relación entre la superficie útil y la construida), como consecuencia de la mayor ocupación en planta de la estructura y de los conductos de instalaciones y ascensores.

Conclusión

Decía en la introducción que este libro se centra en el análisis de los diferentes sistemas que componen los 'edificios en altura' (estructura, cerramiento e instalaciones) y que tal división es, en cierto modo, inevitable para conocer la construcción de tales edificios y poder describirlos. Pero luego estas divisiones se desvanecen un poco y lo que queda son, espléndidos, los edificios, con su tremenda presencia e integridad.

Los arquitectos de comienzos del siglo xx tuvieron que inventar los tipos arquitectónicos de su tiempo un poco desde cero, porque los nuevos cambios en su escala, en su entorno y en su tecnología hacían casi imposible la continuidad con el pasado. El edificio en altura desafiaba más que ningún otro a la historia, pues su principal característica, su altura, no tenía antecedentes directos, e incluso los sistemas de composición más generalizados resultaban difícilmente aplicables. Pero al mismo tiempo, la tradición mantenía necesariamente su influencia, y el acuerdo entre las nuevas invenciones y la arquitectura heredada, entre 'la constancia y el cambio', fue finalmente el tema central en el desarrollo de los edificios de pisos, que fueron encontrando soluciones rigurosas y repetibles, al tiempo que adoptaban un nuevo lenguaje que lograba el acuerdo entre las nuevas soluciones y la arquitectura del pasado.

Hoy trabajamos necesariamente en continuidad con la experiencia descrita en este libro, y la evolución de los tipos en altura aparece como un discurso que aún se prolongará. Muchos de los temas decididos por el Movimiento Moderno siguen vigentes, consecuencia de la racionalidad con que fueron planteados en el inicio, y nuestras soluciones partirán necesariamente de aquellos logros.

La determinación de la forma por sus condiciones puramente físicas (ambientales, funcionales y estructurales) destaca como uno de los valores más sólidos del edificio de pisos y es responsable de la constante reaparición de las mismas organizaciones, incluso de los estándares en sus dimensiones, tanto en oficinas como en viviendas. Si pensamos en los edificios de oficinas (el uso más representado en el libro), no dejará de sorprendernos la continuidad de las soluciones, consecuencia de la lógica del espacio de trabajo y de las condiciones que establecen la circulación o la iluminación. Las organizaciones lineales y centralizadas se mantienen hasta hoy con las variantes y alternativas ya descritas en la disposición de la estructura, organización de la fachada, etcétera.

Bibliografía

Se incluyen aquí solamente las referencias de carácter general sobre los diferentes temas tratados en el libro; para ampliar la documentación relativa a los edificios descritos se puede consultar la procedencia de las ilustraciones.



ALI, Mir M. *Art of the skyscraper: the genius of Fazlur Khan*. Nueva York: Rizzoli, 2001.

ARAUJO, Ramón. "El edificio como intercambiador de energía". *Tectónica*, nº 28, marzo 2009, páginas 4-27.

— *Construir con acero: arquitectura en España, 1993-2007* Madrid: APTA, 2009.

— "Hormigón prefabricado y construcción en altura". *Tectónica*, nº 5, mayo 1997, páginas 4-21.

— *La arquitectura como técnica (1): superficies*. Madrid: ATC Ediciones, 2007.

ARAUJO, Ramón; FERRÉS, Xavier. "Muro cortina". *Tectónica*, nº 16, marzo 2004, páginas 4-37.

ARAUJO, Ramón; SECO, Enrique. *Construir con acero: arquitectura en España*. Madrid: Ensidesa, 1994.

ARGÜELLES ÁLVAREZ, Ramón. *La estructura metálica hoy*. Madrid: Bellisco, 1970.

AZPILICUETA, Enrique. "Hacia un óptimo energético: instalaciones y energía". *Tectónica*, nº 31, febrero 2010, páginas 6-33.

BANHAM, Reyner. *The architecture of well-tempered environment*. Londres: The Architectural Press / Chicago: University of Chicago Press, 1969. Versión española: *La arquitectura del entorno bien climatizado*; Buenos Aires: Infinito, 1975.

BOESIGER, Willy; STONOROV, O. (edición). *Le Corbusier: oeuvre complète*. Zúrich: Girsberger, 1929 y siguientes; 8 volúmenes.

BOUWCENTRUM Rotterdam. *Modern steel construction in Europe*. Amsterdam: Elsevier, 1963.

BUTTON, David; PYE, Brian. *Glass in building: a guide to modern architectural glass performance*. Oxford: Pilkington / Butterworth Architecture, 1993.

COUNCIL on Tall Buildings, Lynn S. Beedle (edición). *Advances in tall buildings*. Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

DANZ, Ernst. *Architecture of Skidmore, Owings & Merrill, 1950-1962*. Nueva York: Praeger, 1963. Versión española: *La arquitectura de Skidmore, Owings & Merrill, 1950-1973*. Barcelona: Gustavo Gili, 1975.

DIAMANT, R.M.E. *Industrialised building 3: 70 international methods, third series*. Londres: Iliffe Books, 1968.

EHRENKRANTZ, Ezra D. *Architectural systems: a needs, resources, and design approach*. Nueva York: McGraw-Hill, 1989.

FENGLER, Max. *Skelettbauten mit Fassadenelementen*. Stuttgart: Koch, 1962. Versión española: *Estructuras resistentes y elementos de fachada*. Barcelona: Gustavo Gili, 1968.

Procedencia de las ilustraciones

Cubierta

Cortesía de Ian Lambot, publicada en *Norman Foster: buildings and projects* (Hong Kong: Watermark Publications, 1989), volumen 3, página 184.

Frontispicio

Cortesía de Jorge Sainz

Láminas

- I. Foto del autor.
- II. Maurice Besset, *Le Corbusier* (Ginebra: Skira, 1987), página 100.
- III. Foto de 'Mikerussell' publicada en Wikimedia Commons.
- IV. Elaboración editorial a partir de un original de dominio público creado por 'Charvex' y publicado en Wikimedia Commons.
- V. Gustau Coderch y Carles Fochs (edición), *La Barceloneta* (Barcelona: Colegio de Arquitectos de Cataluña. 1999), página 11.
- VI. Cortesía de Jorge Sainz.
- VII. Foto de Joerg Hempel publicada en www.frener-reifer.com/resources/Press/2006-The-Plan-17-Berliner-Bogen.pdf.
- VIII. Foto del autor.
- IX. Foto del autor.
- X. Foto de dominio público publicada en nyc-architecture.com.
- XI. William Curtis, *La arquitectura moderna desde 1900* (Londres: Phaidon, 2006), página 408.
- XII. Elaboración editorial a partir de un original creado por 'Ciukes' y publicado en Wikimedia Commons.
- XIII. Elaboración editorial a partir de un original de dominio público publicado en www.nrw-architekturdatenbank.uni-dortmund.de.
- XIV. Maurice Besset, *Le Corbusier* (Ginebra: Skira, 1987), página 157.
- XV. Peter Gössel y Gabriele Leuthäuser, *Arquitectura del siglo xx* (Colonia: Taschen, 1991), página 326.
- XVI. *AV Monografías* 54, 'Frank Lloyd Wright', página 99.
- XVII. inhabitat.com/habitat-67-montreals-prefab-pixel-city.
- XVIII. 4rq.blogspot.com/2011/01/poeta-de-la-arquitectura-louis-kahn.html.
- XIX. Elaboración editorial a partir de una foto original de David K. Staub publicada en Wikimedia Commons.
- XX. Francesco dal Co, *Kevin Roche* (Milán: Rizzoli, 1985), página 11.
- XXI. Maria Antonietta Crippa, *Il restauro del grattacielo Pirelli* (Milán: Skira, 2006), página 59.
- XXII. Cortesía de Jorge Sainz.
- XXIII. Colin Davies y Ian Lambot, *Commerzbank Frankfurt: prototype for an ecological high-rise* (Boston: Birkhauser Verlag, 1997).
- XXIV. Foto del autor.

Salvo indicación en contra, los dibujos son del autor.

Se han hecho todos los esfuerzos posibles por identificar el origen de las ilustraciones, para cuya utilización se ha seguido el criterio del artículo 32 de la Ley de Propiedad Intelectual, sobre 'cita e ilustración en la enseñanza'.

Índice alfabético

- Aalto, Alvar: 55
Adler & Sullivan: 272; figura: 9.9
Aerts, René: 281
AGF, edificio: 73
Albert, Edouard: 189; figura: 6.25
Alcoa, edificio: 135, 288-290; figuras: 4.36, 9.26-27
Alcobendas, viviendas: 246; figura: 8.10
Alcoy, puente: 242; figura: 8.2
Alfeld an der Leine: 153; figura: 5.16
Alpedrete, viviendas: 176; figura: 6.5
American Can Company, sede: 63, 160, 255; figuras: 5.26, 8.26
American Republic, sede: 254, 255; figura: 8.25
Andrault, Michel: 73
Argel: 55
Armstrong Cork, sede: 63
Arriba, edificio: 116, 181
Arup Associates: 252, 256, 260; figura: 8.21
Atefor, sistema: 95; figura: 3.26
Atlas, edificio: 258; figura: 8.30
AUSA: 85; figura: 3.10
Australia Square, Sidney: 98, 278; figuras: 3.32, 9.15-16
- Bach, viviendas: 65, 161; figura: 5.27
Bahía, centro administrativo: 258; figura: 8.31
Bakema & Van der Broek: 72
Balency, sistema: 245; figura: 8.8
Banco de Bilbao, sede: 23, 161, 293-297; lámina xxii; figuras: 9.32-34
Banco de China, sede: 265
Banco de Hong Kong y Shanghai (HSBC): 76, 161, 199, 272, 293, 297-301, 304; figuras: 9.35-39
Banco Español del Río de la Plata: 52; figura: 2.3
Banham, Reyner: 104, 273
Banque Lambert, sede: 63, 256; figura: 8.29
Baranzate: 99
Barcelona: 17, 18, 44, 53, 57, 65, 115, 125, 161, 178, 181, 199, 211, 280; láminas I y V; figuras: 1.30, 2.4, 2.19, 4.7, 4.24, 4.25, 4.33, 5.27, 6.10, 6.39, 7.4
Barceloneta, viviendas: 18, 65; lámina V; figuras: 2.19-20
Barredo, casa: 241; figura: 8.1
Bastion Kellerman: 31; figura: 1.13
Bauhaus: 55, 141, 153
Becket, Welton: 262; figura: 8.35
Bega, Melchiorre: 157; figura: 5.20
Benidorm, ayuntamiento: 199
Bergpolder, edificio: 57, 178; figura: 2.10
- Berlín: 19, 63, 114, 141, 159, 199; lámina VIII; figuras: 4.6, 4.19, 5.23, 5.25, 6.38
Berliner Bogen, edificio: 19, 77; lámina VII; figura: 2.36
Birmingham, laboratorios universitarios: 252; figura: 8.21
Bison, sistema: 247
Bloomfield (Connecticut): 104; figura: 3.41
BMA, torre: 18, 63, 276; lámina IV; figuras: 2.17
Bobrowski, Jan: 256; figura: 8.27-28
Bogardus, James: 51, 177; figuras: 6.6-7
Boston: 274; figura: 9.11
Botines, casa de los: 54
Boulton & Watt: 177
Brinkman, Johannes A.: 58; figura: 2.10
Bristol: 257; figura: 8.28
Bron-Parilly, viviendas: 139; figura: 4.39
Brownson, Jacques: 277; figura: 9.13
BRT Architekten: 19, 77; lámina VII; figura: 2.36
Bruce, edificio: 178; figura: 6.7
Brugg-Windsch, escuela: 100, 185-187; figuras: 3.36, 6.18-23
Brunswick, edificio: 286
Bruselas: 63, 256, 281; figura: 8.29
Buffington, L.S.: 267; figura: 9.2
Bunshaft, Gordon: 20, 96, 153, 254, 255, 256; lámina X; figuras: 3.28, 5.17, 5.26, 8.25, 8.26, 8.29
Burj Khalifa, rascacielos: 24, 303-304; lámina xxvii; figura: 9.42
Burnham & Root: 266; figura: 9.1
Busquets, Javier: 181
- C.F. Murphy Associates: 277; figura: 9.13
Cabrero, Francisco de Asís: 65, 116, 181; figura: 2.21
Caisse Centrale d'Allocations Familiales: 181-183; figuras: 6.11-13
Camarasa, José Luis: 199
Cambridge: 256; figura: 8.24
Canberra: 260; figura: 8.33
Candela, Félix: 95; figura: 3.27
Cannon Design: 166; figura: 5.35
Cano, Diego, Gonzalo, Alfonso y Lucía: 199
Cárdenas, Ignacio de: 179; figura: 6.9
Carrier, Willis: 273
cartesiano, rascacielos: 55
Cartier, fundación: 162; figura: 5.28
Casa Bloc, Barcelona: 178; figura: 6.10
Casa de Irán, París: 74; figura: 2.32
Casa de las Flores, Madrid: 64; figura: 2.18
Casa del Fascio, Como: 55

Colección **Manuales Universitarios de Edificación**

Director

Jorge Sainz

Profesor Titular del Departamento de Composición Arquitectónica
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid · UPM

Coordinador

Fernando Valderrama

Profesor del Departamento de Gestión de la Edificación
Escuela de Arquitectura · UEM

Asesores

Enrique Álvarez-Sala

Rubio&Álvarez-Sala, estudio de arquitectura
Ex profesor de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

César Bedoya

Catedrático del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid · UPM

Clara Brea

Bibliotecaria
Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia

Jaime Cervera

Catedrático del Departamento de Estructuras de Edificación
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid · UPM

Federico García Erviti

Profesor Titular del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid · UPM

Margarita de Luxán

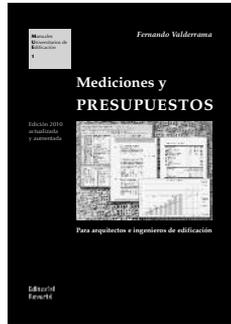
Catedrática del Departamento de Ideación Gráfica Arquitectónica
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid · UPM

Mercedes Medina de Toro

Librería Maireia
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

*A esta lista hay que añadir los autores de los libros de la colección,
que se convierten automáticamente en asesores.*

1



Fernando Valderrama

Mediciones y presupuestos

Para arquitectos e ingenieros de edificación

Edición 2010, actualizada y aumentada

ISBN: 978-84-291-3201-4

381 páginas · 308 ilustraciones

2



Gavin Tunstall

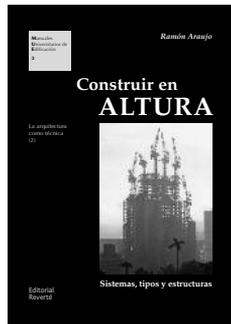
La gestión del proceso de edificación

Del croquis a la ejecución

ISBN: 978-84-291-3102-4

482 páginas · 75 ilustraciones

3



Ramón Araujo

Construir en altura

Sistemas, tipos y estructuras

ISBN: 978-84-291-3103-1

338 páginas · 653 ilustraciones (28 en color)

En preparación:

Peter Smith

Guía de edificación sostenible

Construir en un clima de cambio

Ignacio Fernández Solla

Cerramientos de fachada

El diseño de la piel vertical del edificio

Colección **Estudios Universitarios de Arquitectura**
Dirigida por Jorge Sainz

1



2



3



4



5



6



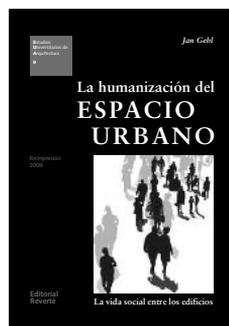
7



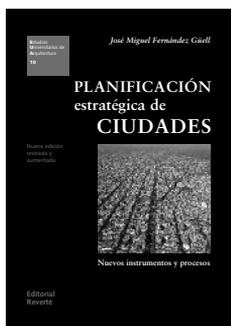
8



9



10



11



12

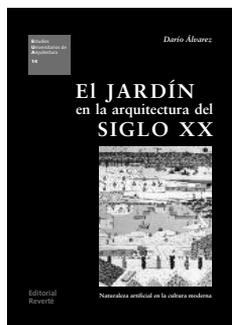


Colección **Estudios Universitarios de Arquitectura**

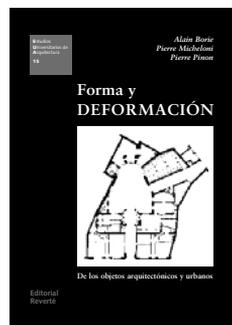
13



14



15



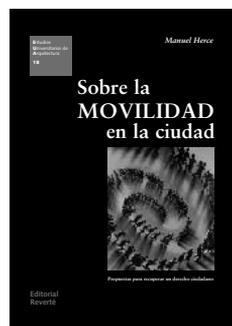
16



17



18



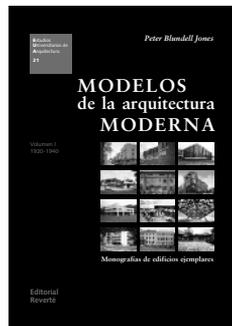
19



20



21



En preparación:

Peter Blundell Jones · Eamonn Canniffe
Modelos de la arquitectura moderna II

Colin Rowe · Leon Satkowski
La arquitectura del siglo XVI en Italia

Manuel Martín Hernández
La casa en la arquitectura moderna

Alan Powers
La arquitectura moderna en Gran Bretaña

Este libro, compuesto con tipos
Palatino (1948) y Optima (1952-1955),
de Hermann Zapf,
se imprimió en Barcelona,
el mes de marzo del año 2012,
en los talleres de Reinbook Impres.

La colección **Manuales Universitarios de Edificación** va dirigida a estudiantes y a profesionales de la construcción, como arquitectos, arquitectos técnicos e ingenieros de edificación, y pretende hacer una importante aportación en los campos del aprendizaje, la investigación y la profesión.

La selección de autores y títulos trata de cubrir todas las disciplinas relacionadas con el conocimiento de la edificación, antes, durante y después del proyecto: desde las fases previas al diseño hasta el mantenimiento del edificio, pasando por el urbanismo y la promoción, la ejecución y las nuevas tecnologías, la gestión de proyectos y obras, la calidad en su sentido más moderno y la organización del trabajo profesional.

Se ha cuidado especialmente el formato y la tipografía para facilitar así la lectura continua, pero también la consulta ocasional. La traducción y revisión de los textos están a cargo de los mejores especialistas en cada una de las materias, procedentes en su mayoría del ámbito universitario. Como es tradición en los mejores libros de edificación, la ilustración gráfica es abundante, práctica y sobria.

Con esta nueva colección, Editorial Reverté extiende al mundo de la edificación su ya larga experiencia en el campo de los libros de carácter científico, técnico y académico.

Editorial
Reverté



Construir en altura

La arquitectura como técnica (2)

Este libro es fruto del curso de Construcción que el autor imparte desde 1989 en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, y constituye la segunda parte de una secuencia iniciada con un volumen dedicado a las 'superficies'.

La mayoría de las construcciones que forman las ciudades son edificios 'de pisos', organizados mediante la superposición de una cantidad significativa de planos horizontales habitables; y la construcción en altura es desde hace mucho tiempo el sistema más generalizado en la ciudad contemporánea.

El edificio de pisos es necesariamente un artefacto muy tecnificado y su evolución en los últimos años ha sido necesariamente técnica. El libro está organizado a partir de esas técnicas, y trata de describirlas en sus aspectos fundamentales, siempre con relación a los edificios en que se emplean, con cierto hincapié en las aplicaciones iniciales o más relevantes. El texto habla principalmente de estructuras, cerramientos y sistemas de instalaciones, y trata de describir su evolución y sus últimos logros.

En el libro se ofrece en lo posible la descripción de edificios completos, más que la de sus partes. Además de la evolución del edificio en altura en estos años, destaca ante todo su carácter experimental, y son muchas las soluciones de todo tipo que se probaron y no han tenido después continuidad.

En la selección de los edificios se han escogido los ejemplos más relevantes, aunque se ha preferido lo más antiguo a lo más reciente, en un intento de tratar de colaborar a que todo ese esfuerzo no quede totalmente relegado.



RAMÓN ARAUJO (San Sebastián, 1957) es arquitecto (1980) y doctor (1992) por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, en la que es profesor del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica desde 1989, Titular desde 1995; es autor de *Construir en acero: arquitectura en España (Oviedo, 1994, con Enrique Seco)*, *La arquitectura como técnica (1): superficies (Madrid, 2007)* y *Construir en acero: arquitectura en España 1992-2008 (Madrid, 2009)*; su labor docente e investigadora se combina con su actividad como arquitecto profesional, de la que se presentan algunos ejemplos en este libro.

Ilustración de cubierta: Foster Associates, sede de HSBC, Hong Kong, en construcción, junio de 1984; foto: Ian Lambot.



Editorial
Reverte

www.reverte.com

